

誤答の呈示が暗算処理に及ぼす影響

佛教大学非常勤講師 風井浩志

抄 録

本研究では、暗算課題において計算問題と答えを同時に呈示することが、その暗算処理にどのような影響を及ぼすかを検討した。誤った答えを呈示する条件（誤答条件）、正しい答えを呈示する条件（正答条件）、答えの代わりにランダムドットを呈示する条件（統制条件）の3つの条件間で暗算に要する反応時間を計測した。その結果として、統制条件よりも正答条件の方が反応時間が長く、正答条件よりも誤答条件の方が反応時間が長いことが示された。後者の結果は先行研究と合致するものであったが、

前者の結果は「正答の呈示は反応時間を短くする」という先行研究の知見とは合致しなかった。合致しない理由として、先行研究が暗算の認知処理過程の計算段階しか考慮していないことが考えられた。今回の実験結果は、暗算の認知処理過程を検討するときには、計算段階に加えて、与えられた問題を符号化する段階も考慮する必要があることを示唆する。

キーワード：暗算 反応時間 認知処理モデル

1. はじめに

1970年代以降、認知心理学の分野で暗算（mental arithmetic）に関する研究が数多く行われてきた^{1),2)}。本研究も暗算処理過程を検討するためのものである。本研究の目的の詳細は後述するが、それに先立って以下では暗算研究の中で取り上げられてきたいくつかの話題と認知処理モデルの概略を述べる。ただし、本研究も含めて、ここで紹介する研究は演算数が1桁の暗算処理を対象としたものであり、特に記述が無い場合には成人の暗算処理に関する知見である。

1.1. 認知処理モデル

認知心理学の分野ではヒトの認知処理につい

て検討する際に、その全体の処理をいくつかの段階に時系列的に分類することが多い。いずれの認知処理に対しても少なくとも3つの段階が想定される。最も簡潔な3つの段階を想定する場合であれば、第1の段階には与えられた刺激を符号化する段階（符号化段階）、最終の段階には反応を選択して実行する段階（反応段階）が割り当てられ、これらの段階の間にその当該の処理特有の段階を割り当てる。暗算処理にこれを当てはめると、第1の段階が符号化段階、第2の段階が計算段階、第3の段階が反応段階となる。認知処理に要する全ての段階を含めたものを認知処理モデルと呼ぶこともあるが、特定の段階に対してもその段階内での処理を説明するためのモデルを設定することもある。

暗算処理の研究の多くは、その計算段階を説明するために行われたものである。暗算処理の場合であれば、例えば計算段階で利用されている方略によって暗算処理モデルを分類することができる。計算段階での方略としては、大別して、手続き的方略とファクト検索 (fact retrieval) 方略とが存在する。手続き的方略とは、例えば問題が2つの数の足し算の場合であれば、一方の数に他方の数と同じ回数だけ1を加えていくことによって答えを導き出す、というように問題と答えとの関係についての知識を利用しない方略である。これに対して、ファクト検索方略とは、長期記憶の中から問題に対応する答えを検索する方略である。ファクト検索方略は、問題と答えが長期記憶の中に格納されており、それらが連合してネットワークを構築しているというネットワーク検索モデルを想定した方略である。一般に、暗算に習熟していない子どもが暗算処理を行う時には手続き的方略を用いていると考えられている³⁾が、成人が暗算処理を行う時にはファクト検索方略が用いられていると考えられている¹⁾。したがって、対象を成人のみに限るのであれば、暗算処理を3段階に分けた場合には、その第2段階は計算段階と呼ぶよりも検索段階と呼ぶ方がその内容を適切に表現していると考えられる。

上記の方略に関する話題の他にも、暗算処理研究で扱われてきた話題としては、問題サイズ効果、同数効果、産出処理と真偽判定処理の相違、などがある。問題サイズ効果とは、問題の演算数が多いほど反応時間が長くなる現象のことである^{4),5)}。なお、演算数とは問題で呈示されている数字のことであり、例えば、問題が“3 + 5”であればこの問題の演算数は“3”と“5”である。

同数効果とは、問題の2つの演算数が等しい問題に対しては、そうでない場合に比べて反応時間が短くなり、正答率も高くなる、という現

象である⁶⁾。近年になってBlankenberger⁶⁾が、暗算処理を3つの段階(符号化段階、検索段階、反応段階)に分けて考えた場合に、同数効果が符合化段階に作用していることを示したが、Blankenberger⁶⁾の研究以前は同数効果は検索段階に作用していると考えられていた^{4),7)}。

暗算処理の研究で用いられる基本的な課題は、産出 (production) 課題と真偽判定 (verification) 課題との2つに大別できる。これらの課題の遂行に含まれる処理が同じであるのか否かについては、複数の研究によって検討されている^{8),9)}。今回の研究は、この話題を扱ったZbrodoff & Loganの研究¹⁰⁾から派生したものである。この話題に関しては、次項で詳しく述べる。

1.2. 産出課題と真偽判定課題

心的演算処理の研究で用いられる基本的な課題は、産出 (production) 課題と真偽判定 (verification) 課題との2つに大別できる。産出課題においては、被験者はひとつの問題(例えば、“5 + 2”)を与えられ、この問題の答えを反応することを求められる。これに対して、真偽判定課題においては、被験者は問題と答えの両方を含んだ式(例えば、“5 + 2 = 7”)を与えられ、この式が真であるか偽であるかの判定を求められる。

産出処理と真偽判定処理との関係についてのひとつの仮説として、「真偽判定課題においては、被験者は、先ず問題の答えを産出した後に、その産出の結果と呈示されている答えとの照合を行う」という考えがある。この仮説に従えば、例えば上記の式(5 + 2 = 7)が真偽判定課題として与えられたとすれば、問題である左辺の“5 + 2”の答えを産出した後に、この産出した結果と右辺の“7”とが照合される。この照合の結果として、被験者は呈示された式の真偽を判断する。すなわち、この仮説では、真偽判

定処理は産出処理と照合処理との2つの処理を系列的に組み合わせたものであると考えられている。以下では、この仮説を系列処理仮説と呼ぶことにする。

系列処理仮説に関する研究として、Ashcraft, Fierman, & Bartolotta⁸⁾は、産出課題に及ぼす問題サイズ効果と真偽判定課題に及ぼす問題サイズ効果を検討した。系列処理仮説が正しいければ、問題サイズ効果は照合処理には無関係であるから、真偽判定課題に対しても産出課題に対する効果と同じ程度の効果を及ぼすと予測される。Ashcraft et al.⁸⁾の結果によると、産出課題に対する問題サイズ効果の程度と真偽判定課題に対する問題サイズ効果の程度は同じであり、これは系列処理仮説を支持するものであるとみなされた。ただし、他の研究¹¹⁾においては、問題の難易度の効果が産出課題と真偽判定課題とで異なることが示されており、必ずしも系列処理仮説が支持されているとは限らない。問題の難易度の効果の研究以外においても、系列処理仮説では説明できない知見も報告されている。例えば、Ashcraft & Stazyk¹²⁾は、真偽判定課題においてスプリット（真の答えと式に呈示されている答えとの差）が大きい場合には反応時間が短くなることを示しているが、この現象は系列処理仮説では説明できない。その他にも系列処理仮説では説明できない現象が報告されている。

Campbell & Tarling¹³⁾は、産出処理と真偽判定処理との相違を調べるために産出課題と真偽判定課題との間でのエラープライミング（error priming）を検討した。エラープライミングとは、以前に呈示された問題の答えが現在呈示されている問題に対する誤反応（エラー）として生起する現象のことである。Campbell & Tarling¹³⁾は、産出課題と真偽判定課題を交互に被験者に課し、課題に対する誤反応とそれ以前の課題との関連を検討した。その結果として、産出課題

における誤反応は直前の真偽判定課題よりもむしろそれ以前の産出課題に関連していることが示された。逆に、真偽判定課題における誤反応は、それ以前の真偽判定課題に関連が深いことが示された。この結果は、式の真偽判定と答えの産出とが異なる過程を経て実行されていることを示唆する。さらには、脳損傷が及ぼす影響が真偽判定課題と産出課題とは異なることを報告した脳損傷患者の事例研究¹⁴⁾は、真偽判定に関わる脳活動と産出に関わる脳活動とが異なることを示唆する。

このように系列処理仮説では説明困難な現象が報告されているが、この仮説とは異なる観点から、産出処理と真偽判定処理との違いを説明する仮説も提案されている⁹⁾。

Zbrodoff & Logan⁹⁾は、系列処理仮説とは別の仮説として、「真偽判定処理と産出処理とでは、算術的知識の利用の仕方が異なるので、式の真偽判定と答えの産出とは異なる方略を利用している」と主張している。この仮説によると、式の真偽判定は一般的な記憶課題における再認（現在呈示されている刺激がそれ以前に呈示されていたか否かを判断すること）に類似している。すなわち、真偽判定課題の遂行においては、被験者は、式全体を検索手がかりとして利用し、その検索手がかりによって惹起される記憶表象（知識のネットワーク）の活性化の程度（Zbrodoff & Logan⁹⁾はこれを“共振（resonance）”と呼んだ）を評価して真偽判定を行う。したがって、真偽判定の遂行には、記憶検索が含まれない。また、真の式によって活性化される一連のネットワークの連合強度は高いので、真の式による活性化は偽の式による活性化よりも高いと仮定されている。他方、答えの産出は一般的な記憶課題における再生（以前に呈示されていた刺激を被験者自らで思い出すこと）に類似している。すなわち、産出課題の遂行においては、被験者は、演算数を検索手がかりとして記憶の中で最

も活性化している項目を選択する。正答はその他の項目よりも活性化が高くなると仮定されている。以下では、この仮説を活性度評価仮説と呼ぶことにする。この仮説であれば、例えば、真偽判定課題において偽の式のスプリットが極端に大きい場合には反応時間が非常にかかるという現象¹²⁾も説明可能である。

Zbrodoff & Logan⁹⁾は、次のような実験結果に基づいて系列処理仮説を却下し、活性度評価仮説を主張した。Zbrodoff & Logan⁹⁾は、被験者に真偽判定課題を課した。ただし、その真偽判定課題に先立ってその真偽判定課題と同じ式の左辺のみを呈示し、この式の左辺の呈示から真偽判定課題の呈示までの時間間隔が問題サイズの効果に及ぼす影響を検討した。もし真偽判定処理が、系列処理仮説で考えられているように、答えの産出処理の完了後にその産出された答えと式の右辺に呈示されている答えとの照合を行っているのであれば、十分に長い時間間隔が設けられた場合には問題サイズの効果は消失するはずである。なぜならば、式の左辺の呈示から真偽判定課題の呈示までに十分に長い時間間隔が設けられた場合には、式の左辺のみを呈示されている間に産出処理が完了し、次いで呈示される真偽判定課題においてはその産出結果と式の右辺に呈示されている答えとを照合するだけで課題を解決できるはずであるからである。しかしながら実験結果は、系列処理仮説に基づく予測とは異なり、式の左辺の呈示から真偽判定課題の呈示までの時間間隔が答えの産出に要する時間よりも十分に長い場合でも、問題サイズの効果は認められた。このことから、Zbrodoff & Logan⁹⁾は、被験者は真偽判定課題の式全体が呈示されるまでは真偽判定処理を進めることなく、式全体を手がかりとした記憶内容（演算表象）の活性化の程度に基づいて真偽判断を決定すると考えた。

上でも述べたように、真偽判定課題の実験結

果を、系列処理仮説だけで説明することは困難である。しかしながら、実際には我々は、反応速度や正答率を優先させなくとも構わない状況においては、真偽判定課題に対する方略として、系列処理仮説で仮定されているように、産出処理を完了した後にその産出結果と呈示されている答えとを照合するという方略を選択することも可能である。この事実に着目して、Zbrodoff & Logan¹⁰⁾は、いずれの仮説が正しいのかという争点から離れ、真偽判定課題においては、産出処理と照合処理の組み合わせによる方略と、式全体と記憶内容との共振の程度に基づく方略のどちらの方略が優勢であるかということに争点を移した。この目的のためにZbrodoff & Logan¹⁰⁾は、真偽判定課題と同じように問題と答えとを同時に呈示し、被験者には呈示された答えを無視して問題の答えを自ら産出するように求めた。つまり、真偽判定課題に対する産出処理と照合処理の組み合わせによる方略と同様の処理を部分的に被験者に強制したとみなせる。Zbrodoff & Logan¹⁰⁾の産出課題では、真偽判定課題と同様に、呈示される式が真の場合（正答が呈示される条件）もあれば、呈示される式が偽の場合（誤答が呈示される条件）もあった。産出課題において問題と答えとが同時に呈示された場合に被験者の反応に対してその答えからの影響が全く無いのであれば、その被験者は真偽判定課題において産出処理と照合処理の組み合わせによる方略を選択している可能性があると考えられる。これに対して、問題と同時に呈示された答えが被験者の産出処理に影響するのであれば、その被験者が真偽判定課題において産出処理と照合処理との単純な組み合わせによる方略を取っているとは考えられず、少なくとも式全体が被験者の反応に影響しているという点で式全体と記憶内容との共振の程度に基づく方略が利用されている可能性が高いと考えられる。実際のところ、Zbrodoff & Logan¹⁰⁾

の結果として、誤答の同時呈示によって産出課題の反応時間が長くなること、すなわち、問題と同時に呈示された答えが産出処理に影響を及ぼすことが示された。この結果は、真偽判定課題においては、式全体と記憶内容との共振の程度に基づく方略が利用されているという考えを支持する、と解釈された。

1.3. 本研究の目的

上述のように、真偽判定課題における被験者の方略としては、産出処理と照合処理との単純な組み合わせによる方略を取っている可能性は低いと考えられる。Zbrodoff & Logan¹⁰⁾の結果は、この考えを強く支持しているが、彼らの実験手続きにはいくつかの改善すべき点が存在する。そこで、本実験の第1の目的は、Zbrodoff & Logan¹⁰⁾の実験に修正を加えて、問題と答えとが同時に呈示される産出課題において、その答えが課題の遂行にどのような影響を及ぼすのかを検討することとした。

修正した点は、(1)統制条件の実施、(2)統制条件の設定、(3)課題遂行直前の注意の位置の統制、の3点であった。これらの詳細は以下の通りである。

第1の修正点である「統制条件の実施」に関して、Zbrodoff & Logan¹⁰⁾は合計4つの実験を行っているが、これらのいずれの実験においても、1つの実験内では2つの条件しか実施していない。産出課題において問題と同時に答えを呈示する場合には、正答が呈示される条件(1つめの実験条件)、誤答が呈示される条件(2つめの実験条件)、答えが呈示されない条件(統制条件)、の3つの条件が設定できる。すなわち、本来であればこれら3つの条件を互いに比較すべきである。ところが、Zbrodoff & Logan¹⁰⁾は、その第1実験では誤答が呈示される条件と正答が呈示される条件だけ、その他の実験では誤答が呈示される条件と統制条件だけを実施し

ている。したがって、正答が呈示される条件と統制条件との直接比較が行われていない。この点に関して、本研究では3つの条件を同じ被験者に課し、これらの条件間での比較を行った。この修正により、誤答の同時呈示の影響だけでなく、正答の同時呈示が産出課題に及ぼす影響を検討できる。

第2の修正点である「統制条件の設定」に関して、Zbrodoff & Logan¹⁰⁾は、4つの実験中3つの実験(第2実験、第3実験、第4実験)で設定の異なる統制条件を実施している。第2実験の統制条件は答えの位置に何も刺激が存在していないという点で不適切であった。第3実験の統制条件は答えの位置に文字を配置した条件であったが、意味を有する文字を答えの位置に配置するという点で不適切である。最終的に第4実験では、統制条件として、文字よりは親近性の低い記号を答えの位置に配置した条件が設定されたが、この条件でも答えの位置に意味のある記号が配置されているという点で不適切である。最も適切な統制条件は、答えの位置に答えと同じ刺激強度で無意味な刺激を配置する条件である。そこで、本研究の統制条件では、ディスプレイ上で数字を構成するドットをランダムに並べ替えて無意味なドットの集合(ランダムドット)に変換した刺激を答えの位置に呈示した。

第3の修正点である「課題遂行直前の注意の位置の統制」に関して、Zbrodoff & Logan¹⁰⁾の刺激呈示方法では、被験者が課題遂行直前にどこを見ていたのか、あるいはどこに注意を向けていたのかが不明である。課題の試行毎に異なる箇所に着目していた可能性を否定できない。Zbrodoff & Loganは、式が呈示される前に式が呈示される範囲に破線を呈示することによって被験者の注視点を定めようとしていた。この場合、必ずしも被験者が課題の遂行時にいつも同じ位置に着目していたことを保証しない。な

ぜならば、式が呈示された時点では被験者は答えが呈示される箇所に注目していたかもしれないし、またある時は問題の左項が呈示される位置に注目していたかもしれない。このように式が呈示された時にどの位置に注目しているかによって、反応が異なる可能性が考えられる。したがって、課題の式が呈示されるときには毎回同じ位置に注目しているべきである。そこで本研究では、被験者が毎回同じ位置を注視して注意を向けるように、式の呈示に先立って、刺激呈示画面の中央に注視点を呈示した。さらに、課題の式を呈示させるために必要な操作として、その注視点の色に応じたキー押し反応を被験者に課した。この操作が要求されることによって、被験者は課題の遂行に先立って必ず画面中央に注意を向けることが保証された。

また、本研究の実験では、正答が呈示される条件を含むことから、呈示された答えを見て答えるという方略が成功する場合が有り得る。被験者がこの方略を採用することが無いように、この方略が成功する確率を25%にした。すなわち、全体の試行の中で正答が呈示される確率を25%、誤答が呈示される確率を25%、ランダムドットが呈示される確率を50%に設定した。

さらに、本研究では、今回の課題に及ぼす同数問題の効果も検討する。Zbrodoff & Logan¹⁰⁾は、同数問題の効果を検討していないが、この問題を検討することによって、暗算処理過程をより詳細に考察することができると思われる。

2. 方 法

2.1. 被験者

12名の大学生・大学院生(22~28歳)が実験に参加した。いずれの被験者も、正常な視力(矯正後も含む)および色覚を有していた。

2.2. 装 置

刺激呈示の制御および被験者のキー押し反応の取得にはパーソナルコンピュータ(NEC, PC9821Ap)を用い、刺激はCRTディスプレイ(NEC, PC-KM153R)上に呈示した。観察距離は約80cmとした。

被験者の音声反応は、コンデンサマイク(audio-technica, AT9820X)を通して、サンプリング周波数10kHzでPC/AT互換機に収録した。

2.3. 刺 激

演算数が1桁の加法の問題とその答えとを含んだ式をひとつの刺激として、CRTディスプレイの中央に呈示した。刺激の全体の大きさは、呈示された答えが1桁の場合には縦8mm×横19mm、呈示された答えが2桁の場合には縦8mm×横21mmであった。演算数と答えの表記には“0”から“9”までの数字を用いたが、これらの数字の描画に要したドット数の範囲は、26ドットから36ドットであった。

刺激の答えの位置に正答が呈示される条件を、正答条件と呼んだ。これに対して、誤答を呈示する条件を誤答条件と呼んだ。統制条件として、刺激の答えの位置に数字ではなく、ランダムドット刺激を配置したものをを用いた。

2.4. 手続き

まず試行の開始の合図として、CRT画面中央に縦2mm×横2mmの注視点が警告音と同時に呈示された。被験者は、注視点の色に応じて手元の反応キーを押すように求められた。

被験者が適切な反応キーを押した160ミリ秒後に、刺激(加法の式)が呈示された。被験者の課題は、この刺激の答えの位置の数字にかかわらず、問題に対する正答を口頭で反応することであった。刺激は呈示されてから1600ミリ秒後に消去された。この間に反応できなかった場

合には、その試行は誤反応とみなした。刺激の消去後1500ミリ秒後に次の試行の開始合図として、注視点と警告音が呈示された（図1）。

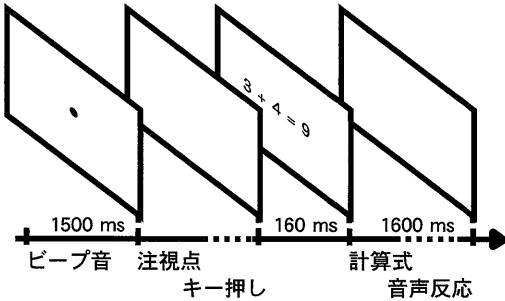


図1. 刺激呈示と被験者の反応の時間関係。ビーブ音が呈示されてから1500ミリ秒後に注視点呈示される。注視点の色に応じて被験者がキー押しをすればその160ミリ秒後に式が呈示される。式は1600ミリ秒間呈示され、被験者はこの間に問題に答える。なお、実際に実験で用いた刺激の色は白色で背景の色は黒色である。

答えの位置に呈示される要素によって、1) 正答条件、2) 誤答条件、3) 統制条件、の3つの条件が設定された。“正答条件”においては、呈示された式に対して正答が呈示された。“誤答条件”においては呈示された式に対して、“正答+2”あるいは“正答-2”の数字が呈示された。“統制条件”においては、答えの位置にランダムドット刺激を配置した。

問題の種類は、演算数として“2”から“9”までの数字を用いたので、64種類であった。これら64種類の問題が、16試行ずつ与えられた。これら16試行の内わけは、正答条件が4試行、“正答+2”が呈示される誤答条件が2試行、“正答-2”が呈示される誤答条件が2試行、統制条件が8試行であった。したがって、被験者ひとりにつき、合計1,024試行が与えられた。1,024試行を64試行×16ブロックに分けて、ブロック間に休憩時間を設けた。問題の種類と条件との組み合わせが出現する順序は、1,024試行の中

でランダムに決定された。

統制条件の刺激に含まれるランダムドットは、正答条件あるいは誤答条件で呈示される答えに要するドット数と同数のドットをランダムに配置したものであった。

反応時間の定義は以下の通りであった。刺激呈示時点から刺激呈示前200ミリ秒までの間の音声波形の平均値 $\pm 3SD$ （標準偏差）の範囲を基準範囲として、刺激呈示後にこの基準範囲を超える値が出現した時点を反応時間と定義した。被験者の反応が正反応であるか誤反応であるかについては、実験者が被験者の音声反応を聴取して判断した。

反応時間に関して、各条件における正反応であった試行の算術平均をその被験者の代表値とした。

3. 結果

3.1. 全体的傾向

まず、Zbrodoff & Logan¹⁰⁾の分析に倣って、同数問題と非同数問題とを分類せずに、全ての問題を含めたデータ分析を行った。

表1は、各条件における正反応率と正反応時間の被験者間平均を示したものである。これらの正反応率について、1要因3水準（誤答条件、正答条件、統制条件）の反復測定分散分析を行った。その結果として、要因の効果は認められなかった（ $F(2, 22) = 3.14, n.s.$ ）。つまり、全ての条件の間で正反応率に有意な差は認められなかった。

表1. 各条件における反応時間と正反応率の被験者間平均を示す。括弧内は標準偏差。単位はミリ秒。

条件	反応時間	正反応率
誤答条件	809 (44.8)	94.4 (3.6)
正答条件	787 (56.5)	95.6 (3.3)
統制条件	770 (49.4)	96.2 (3.1)

平均反応時間についても、1 要因 3 水準（誤答条件、正答条件、統制条件）の反復測定分散分析を行った。その結果として、要因の効果が認められた（ $F(2, 22) = 23.65, p < .01$ ）。次いで、いずれの条件の間で平均反応時間に差が認められるのかを調べるために、Tukey の HSD 検定を用いた。HSD 検定の結果として、統制条件の平均反応時間よりも誤答条件と正答条件の平均反応時間が長く、正答条件の平均反応時間よりも誤答条件の平均反応時間が長いことが示された（ $ps < .01$ ）。

以上の結果は、問題と同時に誤答を呈示することによって産出課題の反応時間が長くなったという点で、Zbrodoff & Logan¹⁰⁾の結果と一致した。

3.2. 同数問題の効果

ここでは、同数問題と非同数問題とにデータを分類した分析結果を述べる。

図2は、問題別に各条件における正反応率の被験者間平均を示したものである。これらの正反応率について、問題型（同数問題、非同数問題）×条件（誤答条件、正答条件、統制条件）の反復測定分散分析を行った。その結果として、問題型の主効果が認められた（ $F(1, 11) = 18.81, p < .01$ ）。条件の主効果（ $F(2, 22) = 1.90, n.s.$ ）および問題型×条件の交互作用（ $F(2, 22) =$

1.17, n.s.）は認められなかった。したがって、同数問題の方が非同数問題に比べて正答率が高いことが示された。

図3は、問題別に各条件における反応時間の被験者間平均を示したものである。反応時間について、問題型（同数問題、非同数問題）×条件（誤答条件、正答条件、統制条件）の反復測定分散分析を行った。その結果として、問題型の主効果（ $F(1, 11) = 28.00, p < .01$ ）、条件の主効果（ $F(2, 22) = 16.16, p < .01$ ）、および問題型×条件の交互作用（ $F(2, 22) = 5.71, p < .05$ ）が認められた。Tukey の HSD 検定の結果として、いずれの条件においても同数問題の方が非同数問題よりも反応時間が短いことが示された（ $p < .05$ ）。

次いで、反応時間に対する問題型の効果が条件によって異なるか否かを検討するために、同型問題に対する反応時間と非同型問題に対する反応時間との差の被験者間平均を算出した。これらの差の被験者間平均に対して、1 要因 3 水準（誤答条件、正答条件、統制条件）の反復測定分散分析を行った。その結果として、要因の効果が認められた（ $F(2, 22) = 5.71, p < .05$ ）。Tukey の HSD 検定の結果として、誤答条件に対する問題型の効果は、他の2条件に対する問題型の効果よりも大きいことが示された（ $p < .05$ ）。すなわち、誤答条件においては、他の2条件に

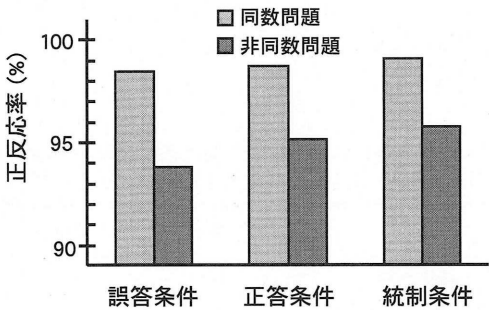


図2. 各条件における問題別の正反応率の被験者間平均。

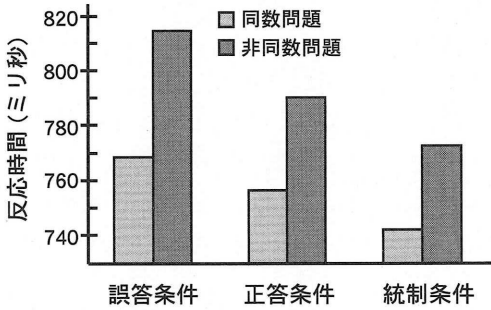


図3. 各条件における問題別の反応時間の被験者間平均。

においてよりも、同数問題と非同数問題との間の反応時間の差が大きかった。

4. 考 察

今回の実験結果は、問題と同時に答えを呈示することによって産出課題の反応時間が変化するという点で、Zbrodoff & Logan¹⁰⁾の結果と一致した。

今回の実験の課題は、真偽判定課題で用いられる刺激（問題と答えから構成される式）と同じ刺激を被験者に呈示してその問題の答えの産出を要求した。これは、真偽判定課題に対する産出処理と照合処理の組み合わせによる方略と同様の産出処理を被験者に強制したとみなすこともできる。したがって、今回の実験課題において問題と同時に呈示された答えが反応時間に影響したという事実は、真偽判定課題において産出処理と照合処理との単純な組み合わせによる方略を用いた場合には、その方略でのファクト検索過程は呈示された答えから影響を受ける、ということを示唆する。つまり、真偽判定課題の遂行においては、産出処理と照合処理との単純な組み合わせによる方略を用いると反応に要する効率が下がる場合があるため、被験者はこの方略よりも効率が高い方略を選択すると考えられる。Zbrodoff & Logan¹⁰⁾は、そのより効率が高い方略として、式全体と記憶内容との共振の程度に基づく方略を挙げている。すなわち、真偽判定課題の遂行においては、被験者は、式全体を検索手がかりとして利用し、その検索手がかりによって惹起される記憶表象の活性化の程度が高い場合には「真」と判断し、それが低い場合には「偽」と判断する。

ところで、真偽判定課題において用いられる方略は産出処理と照合処理との単純な組み合わせによる方略ではないという点では、今回の実験結果はZbrodoff & Logan¹⁰⁾の見解と一致す

るが、今回の実験では Zbrodoff & Logan¹⁰⁾の見解と矛盾する結果も得られている。すなわち、Zbrodoff & Loganの見解では、問題と同時に正答が呈示された条件が統制条件よりも反応時間が長くなったことが説明できない。Zbrodoff & Loganの見解では、正答が同時呈示された場合には、式全体としては記憶表象の検索手がかりがより多く与えられているはずであり、正答条件の反応時間は与えられた検索手がかりが少ない統制条件よりも短くなるはずである。実際にも、産出課題を用いた研究¹⁵⁾では、問題の呈示に先立ってその問題の正答となる数字を呈示することによって反応時間が短くなることが報告されている。Meagher & Campbell¹⁵⁾は、産出課題において、問題が与えられる前に1つの数字を200ミリ秒間呈示し、この数字の呈示終了後から問題が呈示されるまでの時間間隔（0ミリ秒、750ミリ秒、1500ミリ秒の3段階）の効果を調べた。その結果として、いずれの時間間隔であっても、問題の正答となる数字が呈示されると反応時間が短くなり、逆にその問題の誤答となる数字が呈示されると反応時間が長くなることが示された。

まずZbrodoff & Logan¹⁰⁾の見解による予測と今回の実験結果とが矛盾する原因としては、前述のように、Zbrodoff & Loganの実験では統制条件と正答条件とを比較していないことが挙げられる。Zbrodoff & Loganの見解は、自身の実験課題とMeagher & Campbell¹⁵⁾の実験課題を同じものとみなして導かれたものである。しかしながら、Zbrodoff & Loganの実験課題はMeagher & Campbellの実験課題とは細かな点で異なっているので、これら2つの研究で得られた結果を同じように扱うことは不適切であると思われる。Zbrodoff & Loganの実験では、今回の実験と同様に、産出課題において問題と答えとが1つの式として同時に呈示されている。これに対して、Meagher & Campbellの実

験では、問題と答えとは同時には呈示されておらず、両者が最も時間的に近接している条件(時間間隔0ミリ秒の条件)であっても、答えが呈示されてから問題が呈示されるまで200ミリ秒の時間差がある。この時間差があったからこそ、Meagher & Campbellの実験では正答の呈示が反応時間を短くしたと考えられる。このように、Zbrodoff & Loganの実験課題(すなわち今回の実験課題)とMeagher & Campbellの実験課題とが異なるものであると考えれば、Meagher & Campbellの実験結果は今回の実験結果と矛盾しない。つまり、「正答の先行呈示は産出処理を促進する」という事実と「正答の同時呈示は産出処理を抑制する」という事実とは矛盾しない。

したがって、今回の実験結果を説明するためには、「正答の同時呈示は産出処理を促進する」という誤った前提に基づくZbrodoff & Logan¹⁰⁾の見解に修正を加える必要があると考えられる。つまり、産出課題において、正答と問題とが同時に呈示されている場合と誤答と問題とが同時に呈示されている場合とでは、課題の処理過程が大きく異なると考えるべきであろう。実際に、今回の実験データを同数問題と非同数問題とに分類して同数問題の効果を分析した結果では、統制条件と正答条件との間には同数問題の効果に差が無かったのに対して、誤答条件における同数問題の効果は統制条件における同数問題の効果より大きく、また、誤答条件における同数問題の効果は正答条件における同数問題の効果より大きかった。この結果は、産出課題において正答と問題とが同時に呈示されている場合と誤答と問題とが同時に呈示されている場合とでは、課題の処理過程が異なることを示している。暗算処理の全体が3段階(符号化段階、計算・検索段階、反応段階)から構成されたと考えた場合に、同数問題の効果は第1段階である符号化段階に作用することが報告されている⁶⁾。し

たがって、今回の実験で得られた結果を説明するためには、Zbrodoff & Loganのように検索段階の中のネットワークモデルだけで説明を試みるのは不十分であり、符号化段階も考慮せねばならないと思われる。

暗算処理においては、符号化段階と検索段階との間では、情報の流れは一方的ではなく、検索段階での結果が符号化段階へと出力される経路が存在するのではなかろうか。今回の実験の結果は、例えば、次のような3つの性質をもつ暗算処理過程を仮定すれば説明できるかもしれない。すなわち、(1)産出課題の遂行においては、問題以外に数字が呈示された場合には、符号化段階での問題の符号化に抑制がかかる、(2)問題以外の数字が正答である場合と誤答である場合とでは、正答である場合の方が検索に成功する確率が高い、(3)検索に失敗した場合には、もう一度符号化段階へ戻る、という性質である。実際にこれらの性質が暗算処理過程に認められるか否かを検討することが今後の課題として挙げられる。

【引用文献】

- 1) Ashcraft, M. H. (1995). Cognitive psychology and simple arithmetic : A review and summary of new directions. *Mathematical Cognition*, 1, 3-34.
- 2) 島田英昭・海保博之 (2003). 心的演算処理研究の諸問題とその論議. 筑波大学心理学研究, 25, 51-67.
- 3) 栗山和広(1995). 数概念. 吉田甫・多鹿秀継(編), 認知心理学からみた数の理解. 北大路書房, Pp.11-32.
- 4) Ashcraft, M. H. (1987). Children's knowledge of simple arithmetic : A developmental model and simulation. In C. Z. Bisanz, C. J. Brainerd, & R. Kail (Eds). *Formal methods in developmental psychology*. New York, Springer-Verlag, Pp.302-338.
- 5) Campbell, J. I. D. (1995). Mechanism of simple addition and multiplication : A modified

- network interference theory and simulation. *Mathematical Cognition*, 1, 121–164.
- 6) Blankenberger, S. (2001). The arithmetic tie effect is mainly encoding-based. *Cognition*, 82, B15–24.
 - 7) Siegler, R. S. (1988). Strategy choice procedures and the development of multiplication skill. *Journal of Experimental Psychology : General*, 117, 258–275.
 - 8) Ashcraft, M. H., Fierman, B. A., & Bartolotta, R. (1984). The production and verification tasks in mental addition : An empirical comparison. *Developmental Review*, 4, 157–170.
 - 9) Zbrodoff, N. J. & Logan, G. D. (1990). On the relation between production and verification tasks in the psychology of simple arithmetic. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, & Cognition*, 16, 83–97.
 - 10) Zbrodoff, N. J. & Logan, G. D. (2000). When it hurts to be misled : A Stroop-like effect in a simple addition production task. *Memory & Cognition*, 28, 1–7.
 - 11) Campbell, J. I. D. (1987). Production, verification, and priming of multiplication facts. *Memory & Cognition*, 15, 349–364.
 - 12) Ashcraft, M. H. & Stazyk, E. H. (1981). Mental addition : a test of three verification models. *Memory & Cognition*, 9, 185–196.
 - 13) Campbell, J. I. D. & Tarling, D. P. M. (1996). Retrieval processes in arithmetic production and verification. *Memory & Cognition*, 24, 156–172.
 - 14) Dagenbach, D. & McCloskey, M. (1992). The organization of arithmetic facts in memory : evidence from a brain-damaged patient. *Brain & Cognition*, 20, 345–366.
 - 15) Meagher, P. D. & Campbell, J. I. D. (1995). Effects of prime type and delay on multiplication priming : Evidence for a dual-process model. *Quarterly Journal of Experimental Psychology : Human Experimental Psychology*, 48A, 801–821.

